

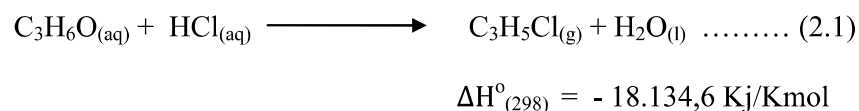
II. PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES

2.1 Jenis Proses Pembuatan Alil Klorida

Pada saat ini dikenal berbagai macam proses pembuatan alil klorida diantaranya :

1. Proses antara alil alkohol dan hidrogen klorida (HCl)

Pada proses ini alil klorida dihasilkan dari reaksi antara alil alkohol dengan HCl dengan reaksi sebagai berikut :



Alil alkohol 70 % wt. dan HCl 35 % wt. direaksikan dalam reaktor dengan suhu reaksi 80°C – 120°C dengan tekanan vakum. Pada reaksi ini digunakan katalis *copper(I)chloride*, *copper(II)chloride* atau paladium klorida. Rasio antara alil alkohol dan asam klorida adalah 1 : 1,5 hingga 1 : 5, rasio umpan tidak boleh melebihi 0,2 untuk mengurangi terbentuknya produk samping yaitu dialil eter. Waktu

tinggal dalam reaktor adalah 20 menit dan *yield* yang dihasilkan adalah 96,4 %.

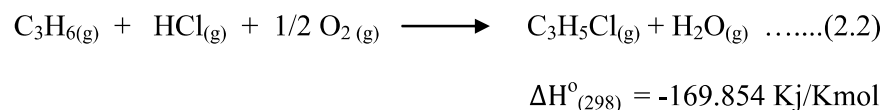
Umpan alil alkohol dan HCl dimasukan kedalam reaktor, setelah itu uap yang dihasilkan dari reaksi didistilasi untuk memperoleh alil klorida.

Cairan hasil reaksi dipisahkan dari produk air dan reaktan/katalis yang tidak bereaksi dengan menggunakan distilasi. Reaktan dan katalis diumpankan kembali kedalam reaktor (US. Patent No. US 2002/00445784 A1).

Secara komersial alil alkohol diproduksi dengan menggunakan proses Shell dan Dow, dimana bahan baku yang digunakan adalah alil klorida dan NaOH (Weissermel dan Arpe, 1997). Di Indonesia, pabrik alil alkohol belum didirikan sehingga pemenuhan alil alkohol sebagai bahan baku alil klorida harus di impor dari negara lain.

2. Proses *oxychlorination* antara propilen, HCl dan oksigen

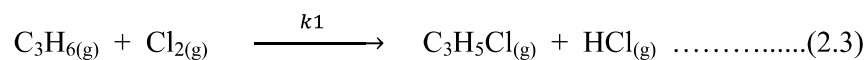
Pada proses *oxychlorination* antara propilen, HCl dan oksigen direaksikan dalam *fluidize* reaktor dengan menggunakan katalis litium klorida. Alil klorida dan air dihasilkan sebagai produknya dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Propilen, HCl dan oksigen/udara dimasukkan kedalam reaktor *fluidized bed* dimana rasio umpan adalah 1 : 1 :2,5. Temperatur reaksi 500°C – 520°C dengan waktu kontak 0,5 hingga 12 detik. Gas hasil reaksi yang keluar dari reaktor akan masuk kedalam seperator untuk memisahkan katalis yang terbawa. Kemudian gas tersebut masuk kedalam *dry ice traps* secara seri, setelah itu masuk kedalam *scrubber* untuk memisahkan HCl yang tidak bereaksi. Cairan yang berasal dari *dry ice trap* masuk kedalam kolom distilasi untuk memisahkan reaktan yang tidak bereaksi dengan alil klorida (US.Patent 2.966.525). Katalis yang digunakan pada proses ini cepat mengalami penurunan aktivitas karena volatilitas katalis yang tinggi. *Active life* katalis yang digunakan sekitar 265 jam/11 hari (US. Patent 4.284.833). *Yield* yang dihasilkan pada proses ini 4 – 6% , karena *yield* yang dihasilkan sangat rendah maka diperlukan peralatan seperasi yang lebih banyak (US. Patent No.4.244.892).

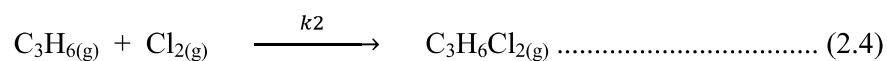
3. Proses klorinasi propilen dan klorin

Secara komersial alil klorida diproduksi dengan proses klorinasi propilen, dengan reaksi kimia sebagai berikut :



$$\Delta H^\circ_{(298)} = -112.640 \text{ KJ/Kmol}$$

$$(-r_1) = k_1 P_{\text{C}_3\text{H}_6} P_{\text{Cl}_2} \dots\dots\dots(2.1)$$



$$\Delta H^\circ_{(298)} = -182.509 \text{ KJ/Kmol}$$

$$(-r_2) = k_2 PC_3H_6 PCl_2 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana nilai $k_i = A_i e^{\frac{-E}{RT}}$
(2.3)

Tabel 2.1 Sistem konstanta reaksi

Persamaan	Frekuensi faktor (A_i) (lbmol/jam-ft ² -atm ²)	Energi aktivasi (E) (Btu/lbmol)
2.1	206.000	27.200
2.2	11.7	6.860

Sumber : *Industrial Environment Chemistry : Waste Minimization In Industrial Processes and Remediation of Hazardous Waste.*

Keterangan :

k_i : Konstanta laju reaksi

A_i : Faktor frekuensi (lbmol/jam-ft²-atm²)

E : Energi aktivasi (Btu/lbmol)

R : konstanta gas (ft³.atm/lbmol.R)

T : Suhu (R)

Proses klorinasi propilen, reaksi dilakukan dalam *plug flow reactor* tanpa menggunakan katalis. Temperatur reaksi klorinasi 200°C – 600°C, tekanan operasi reaktor 2,3 atm. Komposisi klorin dan propilen yang masuk kedalam reaktor adalah 1 : 4 (Smith,1981). Pada klorinasi propilen terdapat reaksi samping yang terjadi yaitu pembentukan 1,2 dikloropropana (C₃H₆Cl₂) yaitu pada persamaan reaksi (2.4).

Pembentukan 1,2 dikloropropana berjalan cepat pada suhu dibawah 200°C dan kecepatannya terus berkurang dengan naiknya suhu reaksi. Pada suhu diatas 300°C kecepatan reaksi pembentukan mulai meningkat

beberapa kali lipat dibandingkan reaksi kedua. Akan tetapi, pada suhu diatas 600°C, kecepatan pembentukan alil klorida menurun yang disebabkan oleh dekomposisi produk (Groggins,1955).

Yield alil klorida yang diperoleh pada proses ini adalah 81,5% (US.

Patent No.4.244.892)

2.2 Pemilihan Proses

1. Perhitungan ekonomi kasar berdasarkan bahan baku yang diperlukan

Harga-harga bahan baku, katalis dan produk untuk ketiga proses diatas dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Harga bahan baku, katalis dan produk

No	Nama Bahan	Berat Molekul (Kg/mol)	Harga (\$)/Kg	Harga (Rp)/kg**
1	Alil Klorida	$76,525 \times 10^{-3}$	3	26.595
2	Alil Alkohol	$58,08 \times 10^{-3}$	5	44.325
3	HCl	$36,41 \times 10^{-3}$	0,181	1.605
4	Klorin	$70,906 \times 10^{-3}$	0,2	1.773
5	Propilen	$42,081 \times 10^{-3}$	0,76	6.737
6	Copper chloride*	-	5	44.325
7	Litium klorida*	-	6,439	57.082

Keterangan : *Alibaba.com/24 oktober 2011

**Kurs 1\$ = Rp. 8.865 (Bank Indonesia/24 Oktober 2011)

Diketahui :

Kapasitas produksi = 30.000 ton/tahun

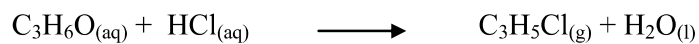
BM alil klorida = $76,525 \times 10^{-3}$ Kg/mol

Kapasitas produksi (mol) = $\frac{30.000.000 \text{ kg/tahun}}{76,525 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}}$

= $0,392 \times 10^9$ mol/tahun

a. Proses antara alil alkohol dan hidrogen klorida (HCl)

Reaksi :



Berdasarkan stoikiometri maka untuk memproduksi $0,392 \times 10^9$

mol/tahun alil klorida, harga bahan baku yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} \text{Alil alkohol} &= \frac{1}{1} \times (0,392 \times 10^9) \text{ mol/tahun} \\ &= 0,392 \times 10^9 \text{ mol/tahun} \\ &= (0,392 \times 10^9 \text{ mol/tahun}) \times (58,08 \times 10^{-3} \text{ Kg/mol}) \\ &= 22.769.029,73 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\text{Harga alil alkohol} = 22.769.029,73 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp. } 44.325 / \text{kg}$$

$$\text{Harga alil alkohol} = \text{Rp. } 1,00923 \times 10^{12} / \text{tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl} &= \frac{1}{1} \times (0,392 \times 10^9) \text{ mol/tahun} \\ &= (0,392 \times 10^9 \text{ mol/tahun}) \times (36,41 \times 10^{-3} \text{ Kg/mol}) \\ &= 14.272.720 \text{ Kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\text{Harga HCl} = 14.272.720 \text{ Kg/tahun} \times \text{Rp. } 1.605 / \text{kg}$$

$$\text{Harga HCl} = \text{Rp. } 2,29 \times 10^{10} / \text{tahun}$$

Total biaya bahan baku yang dibutuhkan :

$$= \text{Rp. } 1,00923 \times 10^{12} / \text{tahun} + \text{Rp. } 2,29 \times 10^{10} / \text{tahun}$$

$$= \text{Rp. } 1.03213 \times 10^{12} / \text{tahun}$$

Total biaya yang dikeluarkan per kilogram produk alil klorida dari alil alkohol dan HCl

$$= \frac{\text{total biaya bahan baku yang dibutuhkan}}{\text{kapasitas produksi}}$$

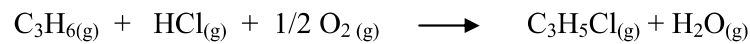
.....(2.4)

$$= \frac{1.03213 \times 10^{12}/\text{tahun}}{30.000.000 \text{ kg}/\text{tahun}}$$

$$= \text{Rp. } 34.404,333/\text{kg}$$

b. Proses *oxychlorination* antara propilen, HCl dan oksigen

Reaksi :



Berdasarkan stoikiometri maka untuk memproduksi $0,392 \times 10^9$ mol/tahun alil klorida, harga bahan baku yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} \text{Propilen} &= \frac{1}{1} \times (0,392 \times 10^9) \text{ mol}/\text{tahun} \\ &= (0,392 \times 10^9 \text{ mol}/\text{tahun}) \times (42,081 \times 10^{-3} \text{ Kg}/\text{mol}) \\ &= 16.495.752 \text{ Kg}/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga propilen} &= 16.495.752 \text{ Kg}/\text{tahun} \times \text{Rp. } 6.737/\text{kg} \\ &= \text{Rp. } 1,1113 \times 10^{11}/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl} &= \frac{1}{1} \times (0,392 \times 10^9) \text{ mol}/\text{tahun} \\ &= (0,392 \times 10^9 \text{ mol}/\text{tahun}) \times (36,41 \times 10^{-3} \text{ Kg}/\text{mol}) \\ &= 14.272.720 \text{ Kg}/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\text{Harga HCl} = 14.272.720 \text{ Kg}/\text{tahun} \times \text{Rp. } 1.605/\text{kg}$$

$$\text{Harga HCl} = \text{Rp. } 2,29 \times 10^{10}/\text{tahun}$$

Total biaya bahan baku yang dibutuhkan :

$$= \text{Rp. } 1,1113 \times 10^{11}/\text{tahun} + \text{Rp. } 2,29 \times 10^{10}/\text{tahun}$$

$$= \text{Rp. } 1,34 \times 10^{11}/\text{tahun}$$

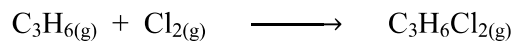
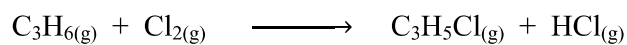
Total biaya yang dikeluarkan per kilogram produk alil klorida dari propilen dan HCl

$$= \frac{\text{Rp.}1,34 \times 10^{11}/\text{tahun}}{30.000.000 \text{ kg/tahun}}$$

$$= \text{Rp. } 4.466,66/\text{kg}$$

c. Proses klorinasi propilen dan klorin

Reaksi :



Berdasarkan stoikiometri maka untuk memproduksi $0,392 \times 10^9$ mol/tahun alil klorida, harga bahan baku yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} \text{Propilen} &= \frac{1}{1} \times (0,392 \times 10^9) \text{ mol/tahun} \\ &= (0,392 \times 10^9 \text{ mol/tahun}) \times (42,081 \times 10^{-3} \text{ Kg/mol}) \\ &= 16.495.752 \text{ Kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga propilen} &= 16.495.752 \text{ Kg/tahun} \times \text{Rp. } 6.737/\text{kg} \\ &= \text{Rp. } 1,1113 \times 10^{11}/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Klorin} &= \frac{1}{1} \times (0,392 \times 10^9) \text{ mol/tahun} \\ &= (0,392 \times 10^9 \text{ mol/tahun}) \times (70,906 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}) \\ &= 27.795.152 \text{ Kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga klorin} &= 27.795.152 \text{ Kg/tahun} \times \text{Rp. } 1.773/\text{kg} \\ &= \text{Rp. } 4,928 \times 10^{10}/\text{tahun} \end{aligned}$$

Total biaya bahan baku yang dibutuhkan :

$$= \text{Rp. } 1,1113 \times 10^{11}/\text{tahun} + \text{Rp. } 4,928 \times 10^{10}/\text{tahun}$$

$$= \text{Rp. } 1,6041 \times 10^{11}/\text{tahun}$$

Total biaya yang dikeluarkan per kilogram produk alil klorida dari propilen dan Cl_2

$$= \frac{\text{Rp. } 1,6041 \times 10^{11}/\text{tahun}}{30.000.000 \text{ kg/ton}}$$

$$= \text{Rp. } 5.347 / \text{kg}$$

2. Perhitungan kelayakan teknik

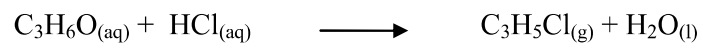
kelayakan teknik suatu reaksi ditinjau dari energy bebas gibbs.

$$\Delta G_{298 \text{ K}}^{\circ} = \Delta G_{298 \text{ K}}^{\circ} (\text{produk}) - \Delta G_{298 \text{ K}}^{\circ} (\text{reaktan})$$

.....(2.5)

a. Proses antara alil alkohol dan hidrogen klorida (HCl)

Reaksi :



$$\Delta G_{298 \text{ K}}^{\circ} = (18.701,6 + -98.275,6) - (-30.633,6 + -40.972,8)$$

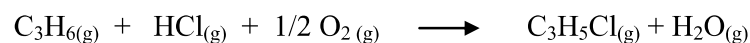
$$\Delta G_{298 \text{ K}}^{\circ} = (-79.574 \text{ btu/lbmol}) - (-71.606,1 \text{ btu/lbmol})$$

$$\Delta G_{298 \text{ K}}^{\circ} = -7.967,9 \text{ btu/lbmol}$$

$$\Delta G_{298 \text{ K}}^{\circ} = -18.538 \text{ KJ/Kmol}$$

b. Proses *oxychlorination* antara propilen, HCl dan oksigen

Reaksi :



$$\Delta G_{298 \text{ K}}^{\circ} = (18.701,6 + -98.275,6) - (26.715,3 + -40.972,8)$$

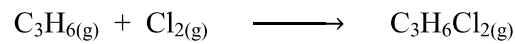
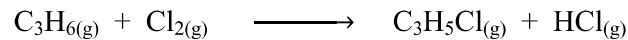
$$\Delta G_{298\text{ K}}^{\circ} = (-79.574 \text{ btu/lbmol}) - (-14.257,5 \text{ btu/lbmol})$$

$$\Delta G_{298\text{ K}}^{\circ} = -65.316,5 \text{ btu/lbmol}$$

$$\Delta G_{298\text{ K}}^{\circ} = -151.926 \text{ kj/kmol}$$

c. Proses klorinasi propilen dan klorin

Reaksi :



$$\Delta G_{298\text{ K}}^{\circ} = (18.701,6 + -40.972,8) - (26.715,3)$$

$$\Delta G_{298\text{ K}}^{\circ} = (-22.271,2) - (26.715,3)$$

$$\Delta G_{298\text{ K}(1)}^{\circ} = -48.986,5 \text{ btu/lbmol}$$

$$\Delta G_{298\text{ K}(1)}^{\circ} = -113.943 \text{ Kj/kmol}$$

$$\Delta G_{298\text{ K}(2)}^{\circ} = (-34.471,1) - (26.715,3)$$

$$\Delta G_{298\text{ K}(2)}^{\circ} = -61.186,4 \text{ btu/lbmol}$$

$$\Delta G_{298\text{ K}(2)}^{\circ} = -142.320 \text{ kj/kmol}$$

$$\Delta G_{298\text{ K}(1+2)}^{\circ} = \Delta G_{298\text{ K}(1)}^{\circ} + \Delta G_{298\text{ K}(2)}^{\circ}$$

$$\Delta G_{298\text{ K}(1+2)}^{\circ} = -113.943 \text{ kj/kmol} + -142.320 \text{ kj/kmol}$$

$$\Delta G_{298\text{ K}(1+2)}^{\circ} = -256.263 \text{ kj/kmol}$$

Energi bebas Gibbs pada suhu reaksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus.

$$\Delta G_{R(T)} = \Delta H_{R(T)}^{\circ} - T(\Delta S_{R(T)}^{\circ}) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana'

$$*) \Delta H_{R(T)} = \Delta H^{\circ}_{R(T_0)} + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT$$

$$*) \Delta S_{R(T)} = \Delta S^{\circ}_{R(T_0)} + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$*) \Delta S_{R(T_0)} = \frac{\Delta H^{\circ}_{R(T_0)} - \Delta G^{\circ}_{R(T_0)}}{T_0}$$

*) T = temperatur reaksi

*) T_0 = temperatur referensi, 25°C

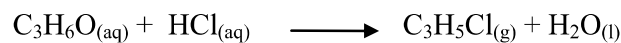
Sehingga, (Smith, 2005, Pers. 13.18, hal 494)

$$\Delta G_{R(T)} = \Delta H^{\circ}_{R(T_0)} + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - T \left(\frac{\Delta H^{\circ}_{R(T_0)} - \Delta G^{\circ}_{R(T_0)}}{T_0} \right) + RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

....(2.7)

a. Proses antara alil alkohol dan hidrogen klorida (HCl)

Reaksi :



$T = 393 \text{ K}$

$T_{\text{ref}} = 298 \text{ K}$

Tabel 2.3 Konstanta untuk mencari nilai Cp

Komponen	ni	A	B	C	D	E
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}^*$	-1	73,299	0,42028	$-1,2789 \times 10^{-3}$	$2,0367 \times 10^{-6}$	-
HCl^{**}	-1	47,3	9×10^{-2}	-	-	-
$\text{C}_3\text{H}_5\text{Cl}^{***}$	1	10,061	0,2756	-0,0001827	$5,09 \times 10^{-8}$	-
H_2O^{**}	1	276,370	-2,0901	$8,125 \times 10^{-3}$	$-1,411 \times 10^{-5}$	$9,37 \times 10^{-9}$

Keterangan :

$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$ (J/mol.K)

*Yaws, 1996 ; **Perry 1999; *** Chemeo

Nilai ΔA , ΔB , ΔC , ΔD , ΔE untuk reaksi di atas,

$$\Delta A = \sum ni A_i = 165.832$$

$$\Delta B = \sum ni B_i = -2,32478$$

$$\Delta C = \sum n_i C_i = 9,2212 \times 10^{-3}$$

$$\Delta D = \sum n_i D_i = -1,60958 \times 10^{-5}$$

$$\Delta E = \sum n_i E_i = 9,37 \times 10^{-9}$$

Tabel 2.4 Entalpi pembentukan (ΔH°_f) dan energi gibbs standar (ΔG°_f) pada 298 K

Komponen	ni	ΔH°_f	ΔG°_f
C ₃ H ₆ O	- 1	-132.009,5714	-71.253,7536
HCl	- 1	-92.301,7276	-95.302,7328
C ₃ H ₅ Cl	1	-627,99674	43.499,9216
H ₂ O	1	-241.817,938	-228.589,0456

Sumber : Perry 1999, Chemcad

$$\Delta H^{\circ}_f_{298} = \sum n_i (\Delta H^{\circ}_f_{298}) = - 18.134,635 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}_r_{298} = \sum n_i \Delta G^{\circ}_r_{298} = - 18.532,6376 \text{ kJ/kmol}$$

$$R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = -6413.6517 \text{ kJ/kmol}$$

$$R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} = -18,5762 \text{ kJ/kmol}$$

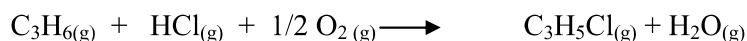
Sehingga :

$$\Delta G_{R(T)} = \Delta H^{\circ}_{R(T_o)} + R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - T \left(\frac{\Delta H^{\circ}_{R(T_o)} - \Delta G^{\circ}_{R(T_o)}}{T_o} \right) - RT \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta G_{R(393)} = -17.772,71833 \text{ KJ/kmol}$$

b. Proses *oxychlorination* antara propilen, HCl dan oksigen

Reaksi :



Tabel 2.5 Konstanta untuk mencari nilai Cp

Komponen	ni	A	B	C	D	E
C ₃ H ₆	- 1	31,298	7,2449 x 10 ⁻²	1,9481x10 ⁻⁴	-2,158 x 10 ⁻⁷	6,2974 x 10 ⁻¹¹
HCl	- 1	47,3	9 x 10 ⁻²	-	-	-
O ₂	-1/2	1,7543 x 10 ²	-6,1543	1,1392 x 10 ⁻¹	-9,2382x10 ⁻⁴	2,7963x10 ⁻⁶
C ₃ H ₅ Cl	1	10,061	0,2756	-0,0001827	5,09x 10 ⁻⁸	-
H ₂ O	1	276,370	-2,0901	8,125 x 10 ⁻³	-1,411 x 10 ⁻⁵	9,37 x 10 ⁻⁹

Sumber : Perry, 1999

Sehingga nilai

$$\Delta A = \sum ni A_i = 120,118$$

$$\Delta B = \sum ni B_i = 1,100201$$

$$\Delta C = \sum ni C_i = -0,0492$$

$$\Delta D = \sum ni D_i = -4,476351 \times 10^{-4}$$

$$\Delta E = \sum ni E_i = -1,38884 \times 10^{-6}$$

Tabel 2.6 entalpi pembentukan (ΔH°_f) dan energi gibbs standar (ΔG°_f) pada 298 K

Komponen	ni	ΔH°_f	ΔG°_f
C ₃ H ₆	-1	-132.009,5714	-71.253,7536
HCl	-1	-92.301,7276	-95.302,7328
O ₂	-1/2	-	-
C ₃ H ₅ Cl	1	-627,99674	43.499,9216
H ₂ O	1	-241.817,938	-228.589,0456

Sumber : Perry 1999, Chemcad

$$\Delta H^{\circ}_f 298 = \sum ni (\Delta H^{\circ}_f 298) = -169.854,1264 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}_r 298 = \sum ni \Delta G^{\circ}_r 298 = -151.926,179 \text{ kJ/kmol}$$

$$R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = -121.886.709,9 \text{ kJ/kmol}$$

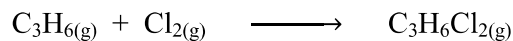
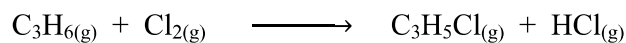
$$R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} = -198.078,2696 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G_{R(T)} = \Delta H^{\circ}_{R(T_o)} + R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - T \left(\frac{\Delta H^{\circ}_{R(T_o)} - \Delta G^{\circ}_{R(T_o)}}{T_o} \right) - RT \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta G_{R(773)} = 31.104.442,77 \text{ KJ/kmol}$$

c. Proses klorinasi propilen dan klorin

Reaksi :



Tabel 2.7 Konstanta untuk mencari nilai Cp

Komponen	ni	A	B	C	D	E
C ₃ H ₆	-1	31,298	7,2449 x 10 ⁻²	1,9481x10 ⁻⁴	-2,158 x 10 ⁻⁷	6,2974 x 10 ⁻¹¹
HCl	1	47,3	9 x 10 ⁻²	-	-	-
Cl ₂	-1	6,3936 x 10 ¹	4,635 x 10 ⁻²	-1,623 x 10 ⁻⁴	-	-
C ₃ H ₅ Cl	1	10,061	0,2756	-0,0001827	5,09x 10 ⁻⁸	-
C ₃ H ₆ Cl ₂	1	34,575	2,427 x 10 ⁻¹	-5,772 x 10 ⁻⁵	-4,952x10 ⁻⁸	2,3275 x 10 ⁻¹¹

Maka nilai

Reaksi 1

$$\Delta A = \sum ni A_i = -37.873$$

$$\Delta B = \sum ni B_i = 0,2468$$

$$\Delta C = \sum ni C_i = -2,1521 \times 10^{-4}$$

$$\Delta D = \sum ni D_i = 2,667 \times 10^{-7}$$

$$\Delta E = \sum ni E_i = -6,2974 \times 10^{-11}$$

Reaksi 2

$$\Delta A = \sum ni A_i = -60,659$$

$$\Delta B = \sum ni B_i = 0,123901$$

$$\Delta C = \sum ni C_i = -9,023 \times 10^{-5}$$

$$\Delta D = \sum ni D_i = 1,6628 \times 10^{-7}$$

$$\Delta E = \sum ni E_i = -3,9699 \times 10^{-11}$$

Tabel 2.8 entalpi pembentukan (ΔH°_f) dan energi gibbs standar (ΔG°_f) pada 298 K

Komponen	ni	ΔH°_f	ΔG°_f
C ₃ H ₆	-1	-132.009,5714	-71.253,7536
HCl	1	-92.301,7276	-95.302,7328
Cl ₂	-1	-	-
C ₃ H ₅ Cl	1	-627,99674	43.499,9216
C ₃ H ₆ Cl ₂	1	-162.799,2986	-80.179,7786

Sumber : Perry 1999, Chemcad

$$\Delta H^{\circ}f_{298} = \sum n_i (\Delta H^{\circ}f_{298})_{r1} = -112.639,644 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}r_{298} = \sum n_i \Delta G^{\circ}r_{298})_{r1} = -113.942,599 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}f_{298} = \sum n_i (\Delta H^{\circ}f_{298})_{r2} = -182.509,218 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}r_{298} = \sum n_i \Delta G^{\circ}r_{298})_{r2} = -142.319,566 \text{ kJ/kmol}$$

$$R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT \quad r1 = 33.384,37703 \text{ KJ/kmol}$$

$$R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} \quad r1 = 59,60113198 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G_{R(T)} = \Delta H^{\circ}_{R(T_o)} + R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - T \left(\frac{\Delta H^{\circ}_{R(T_o)} - \Delta G^{\circ}_{R(T_o)}}{T_o} \right) - RT \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta G_{R(773)} = -128.706,7555 \text{ KJ/kmol}$$

$$R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT \quad r2 = 1.948,266763 \text{ KJ/kmol}$$

$$R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} \quad r2 = -1,248480271 \text{ KJ/kmol}$$

$$\Delta G_{R(T)} = \Delta H^{\circ}_{R(T_o)} + R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - T \left(\frac{\Delta H^{\circ}_{R(T_o)} - \Delta G^{\circ}_{R(T_o)}}{T_o} \right) - RT \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta G_{R(773)} = -207.972,8432 \text{ KJ/kmol}$$

$$\Delta G_{T(773)} = -207.972,8432 + (-128.706,7555)$$

$$= -336.679,59 \text{ KJ/kmol}$$

Perbandingan proses produksi alil klorida dapat dilihat pada Tabel 2.9

Tabel 2.9 Perbandingan proses pembuatan alil klorida

No	Keterangan	Proses		
		a	b	c
1	Suhu operasi °C	80-120	500-520	200-600
2	Katalis	Cu(I)Chloride	Litium klorid	-
3	Harga katalis/kg	Rp. 44.325	Rp. 57.082	-
4	Umur katalis	265 jam	265 jam	-
5	Yield (%)	96,4	4 - 6	80,08
6	Jenis reaktor	CSTR	Fluidized bed	Alir pipa
7	Bahan baku	C ₃ H ₆ O, HCl	C ₃ H ₆ , HCl, O ₂	C ₃ H ₆ , Cl ₂
8	ΔG° pada suhu reaksi (kJ/kmol)	-17.772,71833	31.104.442,77	-336.679,59
9	Produk samping	H ₂ O	H ₂ O	HCl, C ₃ H ₆ Cl ₂
10	Harga bahan baku /kg produk	Rp. 34.404,33	Rp. 4.466,66	Rp. 5.347

Keterangan :

Proses a; Proses antara alil alkohol dan hidrogen klorida (HCl)

Proses b; Proses *oxychlorination* antara propilen, HCl dan oksigen

Proses c; Proses klorinasi propilen dan klorin

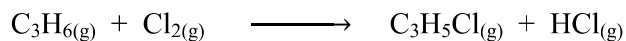
Berdasarkan Tabel 2.9, maka dipilihlah proses pembuatan alil klorida

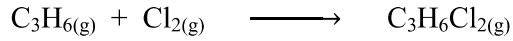
dari propilen dan klorin dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Tidak menggunakan katalis, sehingga tidak diperlukan peralatan untuk memisahkan produk dan katalis dan mengurangi biaya produksi untuk pembelian katalis yang harus diganti setiap 265 jam atau 11 hari (US Patent 4.284.833).
2. Bahan baku dapat disuplai dari industri dalam negeri.
3. Menghasilkan produk samping yang dapat dijual (HCl, C₃H₆Cl₂).

2.3 Uraian Proses

Bahan baku pembuatan alil klorida adalah propilen dan klorin. Reaksi pembentukan alil klorida dari propilen dan klorin adalah sebagai berikut





Ada tiga tahap dalam proses pembuatan alil klorida, yaitu persiapan bahan baku, klorinasi dan seperasi.

1. Persiapan bahan baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan alil klorida terdiri dari propilen yang diperoleh dari PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk., dan klorin yang diperoleh dari PT. Asahimas dan PT. Sulfindo Adiusaha. Tahap persiapan bahan baku dengan menguapkan propilen dan klorin. Tekanan propilen diturunkan menjadi 2,3 atm kemudian dipanaskan kedalam heater. Klorin diturunkan menjadi 2,3 atm kemudian masuk ke *flash drum* untuk memisahkan uap dan liquidnya. Klorin yang cair akan masuk ke *vaporizer* untuk diuapkan. Kemudian uap yang keluar dari flash drum dicampur dengan uap dari *vaporizer* kemudian masuk kedalam reaktor.

2. Klorinasi

Pada proses ini gas propilen dan klorin yang telah dipanaskan masuk kedalam reaktor alir pipa dengan suhu 300°C. Reaksi ini bersifat eksotermis ($\Delta H = 295,149 \text{ KJ/mol}$)

3. Separasi

Produk dari reaktor masuk ke dalam Seperator Drum (SD-301) setelah dikondensasikan kedalam Kondensor (CD-301). Pada Seperator Drum (SD-301) dipisahkan gas dan liquid. Gas yang keluar dari SD-301 masuk kedalam Absorber (AB-301) untuk diserap gas HCl yang terdapat pada stream gas tersebut. Gas yang telah bebas HCl direcycle kembali

untuk masuk kedalam Reaktor (R-201). Liquid yang berasal dari SD-301 di murnikan dengan menggunakan Menara Distilasi (MD-301) sehingga dihasilkan alil klorida sebagai produk utama dan 1,2 dikloropropana sebagai produk samping.